

03.09.2004

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日  
Date of Application: 2004年 1月23日

出 願 番 号  
Application Number: 特願2004-015309  
[ST. 10/C]: [JP 2004-015309]

出 願 人  
Applicant(s): 三菱電機株式会社

REC'D 02 DEC 2004

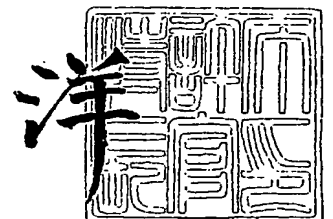
WIPO PCT

PRIORITY DOCUMENT  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

2004年11月18日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

小 川



【書類名】 特許願  
【整理番号】 548799JP01  
【特記事項】 特許法第30条第1項の規定の適用を受けようとする特許出願  
【提出日】 平成16年 1月23日  
【あて先】 特許庁長官殿  
【国際特許分類】 H02K 21/00  
【発明者】  
    【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内  
    【氏名】 都出 結花利  
【発明者】  
    【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内  
    【氏名】 大穀 晃裕  
【発明者】  
    【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内  
    【氏名】 中野 正嗣  
【特許出願人】  
    【識別番号】 000006013  
    【氏名又は名称】 三菱電機株式会社  
【代理人】  
    【識別番号】 100102439  
    【弁理士】  
    【氏名又は名称】 宮田 金雄  
【選任した代理人】  
    【識別番号】 100092462  
    【弁理士】  
    【氏名又は名称】 高瀬 彌平  
【手数料の表示】  
    【予納台帳番号】 011394  
    【納付金額】 21,000円  
【提出物件の目録】  
    【物件名】 特許請求の範囲 1  
    【物件名】 明細書 1  
    【物件名】 図面 1  
    【物件名】 要約書 1

## 【書類名】 特許請求の範囲

## 【請求項 1】

円環状に形成され、コイルが配設された  $Z$  個 ( $Z$  は自然数) のスロットを有するステータと、  $2 \times p$  極 ( $p$  は自然数) の永久磁石を有し、前記ステータの円環に挿入されるロータと、前記ステータの外周を  $N$  箇所において内側に加圧する加圧部品であって、前記  $N$  は  $N = p$ 、 $N = \pm 2 \times p - Z \times i1$  ( $i1$  は 0 以上の整数)、または  $N = Z \times i1 \pm 2 \times p$  から算出される値のうち正の値のいずれかであるもの、とを備えたことを特徴とする永久磁石式同期モータ。

## 【請求項 2】

前記加圧部品は、前記ステータを固定し、かつ前記ロータの一端を回動支持可能に固定するフレームにて構成されていることを特徴とする請求項 1 に記載の永久磁石式同期モータ。

## 【請求項 3】

円環状に形成され、コイルが配設された  $Z$  個 ( $Z$  は自然数) のスロットを有するステータに対し、  $2 \times p$  極 ( $p$  は自然数) の永久磁石を有するロータを前記円環に挿入して組み立てるステップと、前記コイルに通電しない状態で、前記ロータを回転させて角度毎のコギングトルクを測定するステップと、コギングトルクの測定値に基づいて前記ステータの外周部を加圧する位置を決定するステップと、  $N = p$ 、 $N = \pm 2 \times p - Z \times i1$  ( $i1$  は 0 以上の整数)、または  $N = Z \times i1 \pm 2 \times p$  から算出される値のうちの正の値のいずれかである  $N$  箇所において、前記ステータの外周部を加圧する加圧部品を前記ステータの外部に組み立てるステップとを備えたことを特徴とする永久磁石式同期モータの製造方法。

【書類名】明細書

【発明の名称】永久磁石式同期モータ及びその製造方法

【技術分野】

【0001】

本発明は、永久磁石式同期モータ及びその製造方法に関するものである。

【背景技術】

【0002】

永久磁石式同期モータにおける、無通電状態でのロータの脈動トルクであるコギングトルクは、ステータとロータに装着されているマグネットの全磁気エネルギーと回転速度との微分と考えられており、ステータの形状が製造誤差等により不均一であると、コギングトルクは増大する。

従来の永久磁石式同期モータにおいては、そのステータの形状が製造工程において不均一に変化しないようにするため、例えば製造工程において、ステータの位置を固定するために金属製のフレームにステータを圧入する際に、フレームの肉厚をできるだけ均一に保つことでフレームからステータに与えられる力を均一に保ち、ステータの形状が不均一に変化することを防止することで、コギングトルクの増大を防止している。（例えば、特許文献1参照）

【0003】

一方、永久磁石式同期モータにおいて、マグネットを含むロータ及びステータの形状が理論値であったとすると、ロータが一周する際のコギングトルクの脈動数は、マグネットの極数 $2P$ とステータのスロット数 $Z$ との最小公倍数の回数となる（例えば、非特許文献1参照）。

【0004】

しかし、本発明者は、実際の製品において、マグネットの極数 $2p$ とステータのスロット数 $Z$ との最小公倍数よりも少ない脈動数が発生しており、その代表的なものは、ステータのスロット数と同数及びその整数倍、またはマグネットの極数及びその整数倍の脈動成分であることを発見した。このうち、マグネットの極数と同数のコギングトルクの脈動成分については、発生条件の1つとして、電気学会回転機研究会資料RM-03-152（2003）の4頁の（16）式に示すようにステータの作るパーミアンス分布関数がロータ1回転あたりに $N$ 回の脈動成分を持った場合であることがわかった。さらに $N$ が極数と関係することを確認した。（例えば、非特許文献1参照）。つまり、本発明者は、ステータ側の作るパーミアンスの脈動成分が、マグネットの極数と同数のコギングトルクの脈動成分を発生させる原因の一つとなっていることを発見した。

【0005】

【特許文献1】特開平2001-95199号公報（第2頁、第1図）

【非特許文献1】電気学会回転機研究会資料 RM-03-152（2003）

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】 --

【0006】

永久磁石式同期モータにおいて、ステータ側の作るパーミアンスの脈動成分によるマグネットの極数と同数のコギングトルクの原因については、ステータの形状に起因するものだけではなく、ステータに用いられる鋼板そのものがもつ透磁率の非等方性や、製造時の加工によって発生する局所的な残留応力や、ステータの圧入等による応力等があげられる。しかし、製造上これらを特定して除去することは難しく、コギングトルクを低減することができないという問題が生じていた。

【0007】

この発明は、上記のような問題点を解決するためになされたものであり、ステータの所定の箇所に応力と応力による変位を与えて、ステータ側の作るパーミアンスの脈動成分を打ち消してマグネットの極数と同数の脈動成分のコギングトルクを低減させることができる永久磁石式同期モータ及びその製造方法を得ることを目的とするものである。

## 【課題を解決するための手段】

## 【0008】

この発明は、円環状に形成され、コイルが配設された $Z$ 個（ $Z$ は自然数）のスロットを有するステータと、 $2 \times p$ 極（ $p$ は自然数）の永久磁石を有し、前記ステータの円環に挿入されるロータと、前記ステータの外周を $N$ 箇所において内側に加圧する加圧部品であって、前記 $N$ は $N = p$ 、 $N = \pm 2 \times p - Z \times i1$ （ $i1$ は0以上の整数）、または $N = Z \times i1 \pm 2 \times p$ から算出される値の正の値のいずれかであるものとを備えたものである。

## 【0009】

また、円環状に形成され、コイルが配設された $Z$ 個（ $Z$ は自然数）のスロットを有するステータに対し、 $2 \times p$ 極（ $p$ は自然数）の永久磁石を有するロータを前記円環に挿入して組み立てるステップと、前記コイルに通電しない状態で、前記ロータを回転させて角度毎のコギングトルクを測定するステップと、コギングトルクの測定値に基づいて前記ステータの外周部を加圧する位置を決定するステップと、 $N = p$ 、 $N = \pm 2 \times p - Z \times i1$ （ $i1$ は0以上の整数）、または $N = Z \times i1 \pm 2 \times p$ から算出される値の正の値のいずれかである $N$ 箇所において、前記ステータの外周部を加圧する加圧部品を前記ステータの外周部に組み立てるステップとを備えたものである。

## 【発明の効果】

## 【0010】

この発明は、円環状に形成され、コイルが配設された $Z$ 個（ $Z$ は自然数）のスロットを有するステータと、 $2 \times p$ 極（ $p$ は自然数）の永久磁石を有し、前記ステータの円環に挿入されるロータと、前記ステータの外周を $N$ 箇所において内側に加圧する加圧部品であって、前記 $N$ は $N = p$ 、 $N = \pm 2 \times p - Z \times i1$ （ $i1$ は0以上の整数）、または $N = Z \times i1 \pm 2 \times p$ から算出される値の正の値のいずれかであるものとを備えたので、ステータの所定の箇所に応力と応力による変位を与えて、ステータ側の作るパーミアンスの脈動成分を打ち消してマグネットの極数と同数の脈動成分のコギングトルクを低減させることができる永久磁石式同期モータを得ることができる。

## 【0011】

また、円環状に形成され、コイルが配設された $Z$ 個（ $Z$ は自然数）のスロットを有するステータに対し、 $2 \times p$ 極（ $p$ は自然数）の永久磁石を有するロータを前記円環に挿入して組み立てるステップと、前記コイルに通電しない状態で、前記ロータを回転させて角度毎のコギングトルクを測定するステップと、コギングトルクの測定値に基づいて前記ステータの外周部を加圧する位置を決定するステップと、 $N = p$ 、 $N = \pm 2 \times p - Z \times i1$ （ $i1$ は0以上の整数）、または $N = Z \times i1 \pm 2 \times p$ から算出される値の正の値のいずれかである $N$ 箇所において、前記ステータの外周部を加圧する加圧部品を前記ステータの外周部に組み立てるステップとを備えたので、前記ステータの外周部の所定の位置を加圧させる前のコギングトルクの状態を利用するため、その発生要因をブラックボックスとして扱え、いかなる要因である場合もコギングトルクのスロット毎の不均一性に起因する成分を低減することができるので、コギングトルクの要因調査を行うことなく、コギングトルクを低減することができる。

## 【発明を実施するための最良の形態】

## 【0012】

## 実施の形態1.

実施の形態1においては、加圧部品にてステータの所定の位置を加圧することで、コギングトルクを低減することができる8極12スロット型の永久磁石式同期モータについて説明する。

## 【0013】

図1は、本発明に係わる永久磁石式同期モータの一実施の形態における断面図である。本実施の形態においてはロータが8極、ステータが12スロットである場合について説明する。ロータ1は、シャフト1aとロータヨーク1bと永久磁石である磁石1cとから構成されている。シャフト1aは、外形が8角形を有する磁性体のロータヨーク1bを固定

しており、ロータヨーク1bは、外形の8角形の平面をなす部分の各々に磁石1cを固定している。磁石1cの極性は隣り合う同士で反対となるよう構成されている。ステータ2は、主にティースと円環状のバックヨークとで構成されており、ステータ2のティースの内輪側とロータ1のマグネット1cの円弧側とが空隙を構成するように配設されている。尚、通常はティースの周りにはコイル7が巻いてあるが、図1においては省略する。また、ステータ2の外側にはステータの外周の所定の位置を内側に加圧する加圧部品3と加圧部品3の外周で加圧部品3を内側へ加圧させるための外装フレーム4とが構成されている。

#### 【0014】

また、図示しないが、ロータ1は回転可能に支持されており、本実施の形態においてマグネット1cは理想的に配置され、均一で対称的な磁束密度分布を構成するとする。一方ステータ2については製造上不均一な部分を有するためにパーミアンスに脈動成分がある。それが製品に与える影響等については後述する。

#### 【0015】

動作について説明する。ロータ1とステータ2を組み立てて、コイル7に電流を流さない状態のまま、低速かつ一定の速度にてロータ1を回転させ、その際に回転させるのに必要なトルクを角度毎に計測する。このトルクはロストルクと呼ばれている。ロストルクはロータ1を回転支持するためのベアリングの摺動トルクを代表とする一定部分と、ロータ1およびステータ2から構成される磁路回路の全磁気エネルギーにおけるロータ1の角度毎の変化量による脈動部分から構成され、その脈動部分についてはコギングトルクと呼ばれている。

#### 【0016】

図2は本発明に係わる永久磁石式同期モータの一実施の形態におけるロータの角度におけるコギングトルクの計測結果の一例である。ロータの角度は0から90度まで示している。aは、製造時に加圧部品3にてステータ2を外周の所定の位置から加圧する前に測定したものである。横軸はロータ角度で、縦軸はコギングトルクである。ロータ角度の基準はロータ1とステータ2の角度の位置関係が図1の配置の状態である場合を0度としている。すなわち、ロータ1の基準角度を磁極同士の間とした場合に、ロータ1の基準角度の位置とステータ2のティースの中心とが一直線上となる場合である。

#### 【0017】

図2のaは、ロータ1が1回転するにあたり、24回の脈動成分と、8回の脈動成分を重ね合わせた成分をもっている。24回の脈動成分については、本実施の形態のロータ1の極数は8、ステータ2のスロット数が12であり、その最小公倍数となる24と一致することから、ステータ2及びロータ1が理論的な形状をなしていたとしても発生し得る脈動成分として一般に知られている。

#### 【0018】

8回の脈動成分については、ロータ1の極数と同一である。これについては、電気学会回転機研究会資料R-M-03-152(2003)の4頁の(1.6)式に示すように、ロータ1が1回転あたり8回(2p)の脈動成分のコギングトルクを発生する可能性として、ステータの作るパーミアンス分布関数がロータ1の1回転あたりにN回の脈動成分を持った場合に起こり得ることが示されている(非特許文献1参照)。そしてそのNとは、極数の半分の値となる極対数をp、スロット数をZ、スロットの作るパーミアンス脈動関数をフーリエ級数に展開したときの空間次数 $i_1$ とすると、式(1)  $N=p$ 、または式(2)  $N=\pm 2p-i_1 \times Z$ 、または式(3)  $N=i_1 \times Z \pm 2p$ を満たすどれかであることが示されている。尚、非特許文献1には、 $i_1 > 0$ である旨の記載がされているが、 $i_1$ はパーミアンス分布関数をフーリエ級数に展開したときの空間次数であるので、 $i_1 \geq 0$ であっても理論上成立する。式(2)、式(3)が成立するときは、 $i_1$ が小さいほどコギングトルクの振幅が大きくなる。

#### 【0019】

これを実施の形態1の場合である8極12スロットの永久磁石式同期モータに適用した

場合、最も影響の大きい次数  $i_1$  は 1 であるから、 $i_1 = 1$  とすると、 $p = 4$  より、 $N = 4$  となり、 $i_1 = 1$ 、 $Z = 12$ 、 $p = 4$  の時、 $N = 1 \times 12 - 8 = 4$  となる。 $N$  の解が小さいほど、コギングトルクとして表れやすいので、3 個の式から求めた  $N$  の値のうち最も小さな正の値である 4 を選択する。

#### 【0020】

つまり、コギングトルクがロータ 1 の 1 回転あたり 8 回（正方向に 8 回、負方向に 8 回）の脈動成分をもっているということは、ステータ 2 が製造上、不均一であるためにステータ 2 のパーミアンス分布関数に  $N = 4$  回の脈動成分がある可能性があることを示している。しかし、その原因については単にステータ 2 の形状だけではなく、ステータ 2 に用いられる鋼板そのものがもつ透磁率の非等方性や、製造時の加工によって発生する局所的な残留応力や、ステータ 2 の圧入等による応力等があげられ、製造上これらを特定して除去することは難しい。

#### 【0021】

ロータ 1 の 1 回転あたり 8 回の脈動成分のコギングトルクを減少させるためには、逆にステータ 2 の作るパーミアンス分布関数の 4 回の脈動成分に対し反対位相となる成分を与えて、パーミアンス分布関数のうち 4 回の脈動成分を相殺させることが有効な手段として考えられる。

#### 【0022】

そこで、コギングトルクの 8 回の脈動成分の波形が図 2 の a のような位相の波形を示す場合は、図 1 に示すようにステータ 2 のパーミアンス分布関数の脈動回数 4 に等しい 4 個の加圧部品 3 を用意し、これを外装フレーム 4 とステータ 2 との間で、基準角度の位置と一直線上にあるティースの中心から 90 度間隔で 4 箇所圧入することで、ステータ 2 に所定の応力と変位を与える。その応力によって、ステータ 2 の局所の比透磁率が変化する。ステータ 2 の変位と応力による比透磁率の変化は、ステータ 2 とロータ 1 との空隙長としてロータ 1 の 1 回転あたり 4 回の脈動となっており、また、ステータ 2 のバックヨークの応力により比透磁率もロータ 1 の 1 回転あたり 4 回の脈動となっている。よって、パーミアンス分布関数の 4 回の脈動成分に対して反対位相の成分を与え、ステータ 2 のパーミアンスの 4 回の脈動成分を相殺することができる。

#### 【0023】

図 2 の b は加圧部品 3 に適正なしめ代にてステータ 2 に圧入後に測定したコギングトルクである。a と比較して、コギングトルクの 1 回転あたり 8 回の脈動成分が相殺されており、全体としてコギングトルクが減少していることがわかる。

#### 【0024】

また、コギングトルクの 8 回の脈動成分の波形が図 2 の a のような位相から  $\alpha$  度ずれていた場合は、それに応じて加圧位置を回転させることで対応可能である。加圧位置をずらす量は、概して  $\alpha$  度に比例する傾向はあるものの、圧入する場合のしめ代の程度にも依存するため、比例にならない場合もある。したがって、個々の製品の条件に応じて、実験的に把握することが望ましい。

#### 【0025】

本実施の形態では、加圧箇所数は、式 (1) ~ (3) で  $i_1 = 1$  として、 $N = p$ 、 $N = \pm 2 \times p - Z$ 、または  $N = Z \pm 2 \times p$  で求められる  $N$  の解の正の最小値により決定し、加圧位置は、コギングトルクの測定でコギングトルクが零の点またはその近くを第一の加圧位置とし、その加圧位置は、図 1 の基準角度とし、残りの加圧位置は等しい角度間隔で配置する。

#### 【0026】

以上のことより、この実施の形態は、コイルが配設された 12 個のスロットを有するステータ 2 と、8 極の永久磁石を有し、ステータ 2 の円環に挿入されるロータ 1 と、ステータ 2 の外周を  $N$  箇所において内側に加圧する加圧部品 3 であって、 $N$  は  $N = 4$ 、 $N = \pm 2 \times 4 - 12$ 、または  $N = 12 \pm 2 \times 4$  から算出される値の正の最小値 4 であるものとを備えたので、ステータ 2 の所定の箇所に応力と応力による変位を与えて、ステータ 2 の作る

パーミアンスの4回の脈動成分を打ち消してロータ1の極数と同数の脈動成分のコギングトルクを低減させることができる。

#### 【0027】

尚、本実施の形態においては、ステータ2と外装フレーム4との間に円弧状の加圧部品3を配設する構造としたが、ステータ2の外周の所定の4箇所内側に応力をかけられる構造であればよいので、たとえば大量生産する製品に適用した場合において、応力をかける所定の箇所が製品毎にほぼ同じである場合には、外装をモールドする際に外側の肉厚を厚くするなどしてモールドの成形方向及び形状を工夫することで、所定の位置に内側に応力をかけることが可能である。

#### 【0028】

また、本実施の形態においては、ロータの極数とスロットとの比が2:3の関係にあり、それと同数の比として代表的な例としては4極6スロット、6極9スロットがある。これらがロータの極数と同数のコギングトルクの脈動を発生させる可能性のある、ステータ2の作るパーミアンス分布関数のN回脈動のNの解の最小は、4極6スロットの場合は $N=2$ 、6極9スロットの場合は $N=3$ となる。これらはロータ1の角度を電気角としてみた場合は、ステータのスロットとロータの極との角度の関係が全く同じであるため、それぞれ対応した数の加圧部品を適切に配置すれば同様の効果を奏する。

#### 【0029】

実施の形態2.

実施の形態2においては、加圧部品にてステータの所定の位置を加圧することで、コギングトルクを低減することができる10極12スロット型の永久磁石式同期モータについて説明する。

#### 【0030】

図3は、本発明に係わる永久磁石式同期モータの第2の実施の形態における断面図である。実施の形態1と比較して本実施の形態においてはロータが10極、ステータが12スロットとなっている。但し、加圧部品3は実施の形態1においては4箇所配設されているが、本実施の形態においては2箇所のみとなっている。

また、本実施の形態においてマグネット1cは理想的に配置され、均一で対称的な磁束密度分布を構成するとする。一方ステータ2については製造上不均一な部分を有するためパーミアンスに脈動成分がある。それが製品に与える影響等については後述する。

#### 【0031】

図4は本発明に係わる永久磁石式同期モータの第2の形態におけるロータの角度におけるコギングトルクの計測結果の一例である。ロータの角度は0から360度まで示している。図4(a)は、製造時に加圧部品3にてステータ2を外周の所定の位置から加圧する前に測定したものである。

図4(a)のコギングトルクは、ロータ1が1回転するにあたり、ステータ2のスロット数と同じ12回の脈動成分と、ロータ1の極数と同じ10回の脈動成分を重ね合わせた成分をもっている。

#### 【0032】

ロータ1の極数と同じ10回の脈動成分についても、実施の形態1に示した理論と同様に、ロータ1が1回転あたり10(2p)回の脈動成分のコギングトルクを発生する可能性のある、ステータの作るパーミアンス分布関数のロータ1の1回転あたりのN回の脈動成分のNの条件は、式(1)  $N=p$ 、または式(2)  $N=\pm 2p - i1 \times Z$ 、または式(3)  $N=i1 \times Z \pm 2p$ を満たすどれかである。最も影響の大きい次数 $i1=1$ とすると、 $Z=12$ 、 $2p=10$ の場合であり、式(1)から $N=5$ 、式(3)から $N=1 \times 12 - 10 = 2$ となる。よって、Nの解のうち最も小さな数は2となる。

#### 【0033】

つまり、コギングトルクがロータ1の1回転あたり10回(正方向に10回、負方向に10回)の脈動成分をもっているということは、ステータ2が製造上、不均一であるためにステータ2のパーミアンス分布関数に2回の脈動成分がある可能性を示して



いる。原因については実施の形態 1 にて述べたように、単にステータ 2 の形状だけではなく、鋼板そのものがもつ透磁率の非等方性や、製造時の加工によって発生する局所的な残留応力や、ステータ 2 の圧入等による応力等があげられる。

#### 【0034】

特に、パーミアンス分布関数の 2 回の脈動成分については、ステータ 2 に用いられる鋼板そのものの製造時に、鋼板を製造する際の圧延工程を経ると、圧延方向とその直交方向とで残存する内部応力が異なるため、鋼板の比透磁率が非等方性となる。そしてその鋼板から打ち抜かれたコアの方向をそろえたまま重ねあわせられ、ステータ 2 となった場合に、ステータ 2 のバックヨークの比透磁率は、ロータ 1 の 1 回転あたり 2 回の脈動成分を持つこととなる。

#### 【0035】

ロータ 1 の 1 回転あたり 10 回の脈動成分のコギングトルクを減少させるためには、逆にステータ 2 の作るパーミアンス分布関数の 2 回の脈動成分に対し反対位相の成分を与えればよい。

そこで、コギングトルクの 8 回の脈動成分の波形が図 2 の a のような位相の波形を示す場合は、図 3 に示すようにステータ 2 のパーミアンス分布関数の脈動回数 2 に等しい 2 個の加圧部品 3 を用意し、これを外装フレーム 4 とステータ 2 との間で、対向する位置に圧入することで、ステータ 2 に所定の応力と変位を与える。その応力によって、ステータ 2 の局所の比透磁率が変化する。ステータ 2 の変位と応力による比透磁率の変化は、ステータ 2 とロータ 1 との空隙量として、ロータ 1 の 1 回転あたり 2 回の脈動となっており、また、ステータ 2 のバックヨークの応力により比透磁率も、ロータ 1 の 1 回転あたり 2 回の脈動となっている。よって、ステータ 2 とロータ 1 の位置関係さえあわせれば、パーミアンス分布関数も 2 回の脈動成分に対し反対位相の成分を与えることとなる。

#### 【0036】

図 4 (b) は加圧部品 3 を適正なしめ代にてステータ 2 に圧入後に測定したコギングトルクである。図 4 (a) と比較して、コギングトルクの 1 回転あたり 10 回の脈動成分が相殺されており、全体としてコギングトルクが減少していることがわかる。

#### 【0037】

以上のことより、この実施の形態は、コイルが配設された 12 個のスロットを有するステータ 2 と、10 極の永久磁石を有し、ステータ 2 の円環に挿入されるロータ 1 と、ステータ 2 の外周を N 箇所において内側に加圧する加圧部品 3 であって、N は  $N=5$ 、 $N=\pm 2 \times 5 - 12$ 、または  $N=12 \pm 2 \times 5$  から算出される値の正の最小値 2 であるものとを備えたので、ステータ 2 の所定の箇所に応力と応力による変位を与えて、ステータ 2 の作るパーミアンスの 2 回の脈動成分を打ち消してロータ 1 の極数と同数の脈動成分のコギングトルクを低減させることができる。

#### 【0038】

実施の形態 3.

図 5 は、本発明に係わる永久磁石式同期モータの第 3 の実施の形態における断面図である。実施の形態 1 との違いは、加圧部品 3 と外装フレーム 4 の代わりに、フレーム 5 にステータ 2 が圧入されている点にて異なる。

また、図 6 は、本発明に係わる永久磁石式同期モータの第 3 の実施の形態における横断面図である。

フレーム 5 は、ステータ 2 の所定の位置を 4 箇所加圧する加圧部と、ロータ 1 の一端を回転可能に支持できるようにロータ 1 に勘合されるベ어링 6 の外輪を支持するための軸受け部が設けられている。構造上、フレーム 5 の軸受け部と加圧部はロータ 1 と同軸上に構成される。

#### 【0039】

製造時、ステータ 2 は、フレーム 5 の加圧部分とステータ 2 の外周部の所定の位置とをあわせて、フレーム 5 に圧入される。すると、フレーム 5 は直接ステータ 2 の外周部の所定の位置を内側に加圧する。よって実施の形態 1 における加圧部品 3 と同様の作用をステ

ータ 2 に与えることで、コギングトルクを低減することができる。

#### 【0040】

従って、第 3 の実施の形態においては実施の形態 1 と同じ効果を得ることが出来ることに加え、フレーム 5 にて直接ステータ 2 の外周の所定の位置を加圧できる構成としたので、部品を簡素化できる。

#### 【0041】

尚、本実施の形態において、フレーム 5 がステータ 2 を固定して加圧する手段として圧入することによって行う場合について説明したが、焼きばめにて行ってもよい。

また、本実施の形態では 8 極 12 スロットの場合について説明したが、実施の形態 2 における 10 極 12 スロットにおいてフレーム 5 の加圧部を 2 箇所にするれば同様の効果を得ることができる。

#### 【0042】

実施の形態 4.

実施の形態 4 においては、本発明に係わる永久磁石式同期モータのコギングトルクを低減することができる製造方法について説明する。

#### 【0043】

一般に、永久磁石式同期モータの製造の際に、品質を安定させるために、製造時にコギングトルクを検査することは一般的に行われている。しかし、一般にコギングトルクを検査する工程は全てを組み終えた後、完成品の状態の最終検査の段階にて行われる。よって、製品仕様によって小さなコギングトルクが要求されている場合に、製造時に仕様を満足しない製品が発生した際にはその製品を廃却するか、分解して再組み立て等を行う等を行っていた。また、ステータ 2 の外形を圧入する工程のある永久磁石式同期モータの場合は、その圧入工程によってかえってコギングトルクを増大させている場合もあった。

#### 【0044】

本実施の形態において、実施の形態 1 の 8 極 12 スロットの場合について説明すると、まず第一に、ステータ 2 を加圧部品 3 を加圧する前の段階で、ロータ 1 とステータ 2 を組み立て後の位置に合わせて、コギングトルクを測定する。その際、コイル 7 などは巻いた後の状態で計測するのが望ましい。巻線時のコイル 7 のテンションによってステータ 2 のティース部等にも応力が発生している場合があるからである。

尚、大量生産用の製品などにおいて、製造時の上記測定時のコギングトルクの位相が製品毎にほぼ一定になっている場合などは、個々の製品毎に検査する必要はなく、抜き打ち検査等でおこなってもよい。

#### 【0045】

次に、ロータ 1 のコギングトルクの角度毎のデータからステータ 2 を加圧する箇所数  $N$  を決定する。

コギングトルクのデータから、ロータ 1 との極数と同じ 8 回の脈動成分が検出された場合、電気学会回転機研究会資料 RM-03-152 (2003) の 4 頁の (16) 式により、ステータの作るパーミアンス分布関数がロータ 1 の 1 回転あたりに  $N$  回の脈動成分を持っている可能性がある (非特許文献 1 参照)。そしてその  $N$  とは、極数の半分の値となる極対数を  $p$ 、スロット数  $Z$ 、パーミアンス分布関数をフーリエ級数に展開しときの空間次数  $i$  とすると  $N = p$ 、または  $N = \pm 2p - i$ 、または  $N = i \times Z \pm 2p$  を満たすどれかであることが示されている。 $N$  の解のうち最も小さな正の数は実施の形態 1 に示されるように 4 となる。よって、ロータ 1 の 1 回転あたり 8 回の脈動成分のコギングトルクを減少させるためには、逆にステータ 2 の作るパーミアンス分布関数の 4 回の脈動成分に対し反対位相となる成分を与える必要があるので、 $N$  は 4 に決定される。

#### 【0046】

次に、ロータ 1 のコギングトルクの角度毎のデータからステータ 2 を加圧する箇所を決定する。具体的には、コギングトルクのデータから、ロータ 1 の極数と同数の成分を抽出し、その抽出された略正弦波成分の位相に応じてステータ 2 を加圧する箇所を決定する。例えば、実施の形態 1 における図 2 のコギングトルク  $a$  であった場合は、図 1 に示す基準

角度の位置と一直線上にあるティースの中心から90度間隔で4箇所となる。

また、コギングトルクの8回の脈動成分の波形が図2のaのような位相から $\alpha$ 度ずれていた場合は、実施の形態1にて示したように実験的に把握することが望ましいため、しめ代等の条件も考慮して、事前にマップ化等をしており、生産時にそのマップから情報を取り出してステータ2を加圧する対応する箇所を決定する必要がある。

#### 【0047】

最後に、ステータ2の外周の所定の位置を加圧する。加圧部品3をステータ2の外周部の所定の位置に4箇所合わせて外装フレーム4との間に圧入する。

#### 【0048】

したがって、第4の実施の形態においては、円環状に形成され、コイル7が配設された12個のスロットを有するステータ2に対し、8極(Pは自然数)の永久磁石を有するロータ1を前記円環に挿入して組み立てるステップと、コイル7に通電しない状態で、ロータ1を回転させて角度毎のコギングトルクを測定するステップと、コギングトルクの測定値に基づいてステータの外周部を加圧する位置を決定するステップと、 $N=4$ 、 $N=\pm 2 \times 4 - 12$ 、または $N=12 \pm 2 \times 4$ から算出される値の正の最小値である4箇所において、前記ステータの外周部を加圧する加圧部品を前記ステータの外周部に組み立てるステップとを備えたので、ステータ2の外周部の所定の位置を加圧させる前のコギングトルクの状態を利用するため、その発生要因をブラックボックスとして扱え、いかなる要因である場合もコギングトルクのスロット毎の不均一性に起因する成分を低減することができるので、コギングトルクの要因調査を行うことなく、コギングトルクを低減することができる。

#### 【0049】

尚、コギングトルクを計測するステップにおいて、ロータ1の極数と同数のコギングトルクが発生しなかった場合は、加圧する構造をもつ加圧部品3や、フレーム5を使用せずに、通常円環状でステータ2を固定する部品にてステータ2を固定してもよい。

また、実施の形態3のフレーム5においても同様に、本実施の形態の製造方法を用いることができる。

#### 【0050】

実施の形態5。

実施の形態5においては、加圧部品にてステータの所定の位置を加圧する箇所数がNの条件の解のうち最小ではない場合でも、コギングトルクを低減することができる永久磁石式同期モータについて説明する。

#### 【0051】

図7は、本発明に係わる永久磁石式同期モータの第5の実施の形態における断面図である。実施の形態1と比較して本実施の形態においてはロータが4極、ステータが12スロットとなっている。

また、本実施の形態においてマグネット1cは理想的に配置され、均一で対称的な磁束密度分布を構成するとする。一方ステータ2については製造上不均一な部分を有するためにパーミアンスに脈動成分がある。それが製品に与える影響等については後述する。

#### 【0052】

実施の形態5における4極12スロットの永久磁石式同期モータのコギングトルクを計測した際にも、ロータ1が1回転するにあたり、ロータ1の極数と同じ4回の脈動成分をもつ場合がある。

#### 【0053】

実施の形態1から3においては、式(1)～(3)から算出されるNの解のうち正の最小値である場合について説明しているが、Nの解が最小値ではない場合でも、ステータ2の作るパーミアンス分布関数のN回の脈動成分に対し反対位相の成分を与えればコギングトルクが低減される場合がある。実施の形態5の場合である4極12スロットにおいては、式(1)～(3)で $i1=0$ として、 $N=2$ 、 $N=\pm 2 \times 2 - 12 \times 0$ 、または $N=12 \times 0 \pm 2 \times 2$ から算出される値のうち正の値である $N=4$ のパーミアンス分布関数の脈

動成分が発生している。尚、非特許文献1には、 $i_1 > 0$ である旨の記載がされているが、 $i_1$ はパーミアンス分布関数をフーリエ級数に展開したときの空間次数であるので、 $i_1 \geq 0$ であっても理論上成立する。式(2)、(3)が成立するときは、 $i_1$ が小さいほどコギングトルクの振幅が大きくなる。

#### 【0054】

図7に示すようにステータ2のパーミアンス分布関数の脈動回数4に等しい4個の加圧部品3を用意し、加圧位置は、コギングトルクの測定でコギングトルクが零の点またはその近くを第一の加圧位置とし、残りの加圧位置は等しい角度間隔で配置する。これを外装フレーム4とステータ2との間に圧入することで、ステータ2に所定の応力と変位を与える。その応力によって、ステータ2の局部の比透磁率が変化する。ステータ2の変位と応力による比透磁率の変化は、ステータ2とロータ1との空隙量として、ロータ1の1回転あたり4回の脈動となっており、また、ステータ2のバックヨークの応力により比透磁率も、ロータ1の1回転あたり4回の脈動となっている。よって、ステータ2とロータ1の位置関係さえあわせれば、パーミアンス分布関数も4回の脈動成分に対し反対位相の成分を与えることとなる。

#### 【0055】

上記の場合、加圧部品3による加圧前後でのコギングトルクが低減されていることが確認されている。したがって、パーミアンス分布関数も4回の脈動成分が発生しており、それに対して、加圧部品3による加圧によりその反対位相の成分を与えることができる。

#### 【0056】

以上のことより、この実施の形態は、コイルが配設された12個のスロットを有するステータ2と、4極の永久磁石を有し、ステータ2の円環に挿入されるロータ1と、ステータ2の外周をN箇所において内側に加圧する加圧部品3であって、式(1)  $N = p$ 、または式(2)  $N = \pm 2p - i_1 \times Z$ 、または式(3)  $N = i_1 \times Z \pm 2p$ から求められるNは、次数  $i_1 = 0$  として、式(1)から  $N = 2$ 、式(2)から  $N = \pm 2 \times 2 - 1 \times 2 \times 0 = 4$ 、または式(3)から  $N = 1 \times 2 \times 0 \pm 2 \times 2 = 4$ 、となる。これらのNの値のうち正の値である4箇所であるものとを備えたので、ステータ2の所定の箇所に応力と応力による変位を与えて、ステータ2の作るパーミアンスの4回の脈動成分を打ち消してロータ1の極数と同数の脈動成分のコギングトルクを低減させることができる。

#### 【0057】

尚、加圧部品3と外装フレーム4の代わりに、実施の形態3と同様にフレーム5をステータ2に圧入している場合でも、同様の効果を奏することができる。

#### 【0058】

実施の形態6.

実施の形態6においては、実施の形態5における永久磁石式同期モータを実施の形態4の製造方法に適用した場合について説明する。

#### 【0059】

実施の形態4との工程での違いについて説明する。ロータ1のコギングトルクの角度毎のデータからステータ2を加圧する箇所数Nを決定する工程において、実施の形態4の場合においては、 $N = p$ 、または  $N = \pm 2p - i_1 \times Z$ 、または  $N = i_1 \times Z \pm 2p$  のどれかを満たすNの解のうち最も小さな正の数にて決定するが、実施の形態6においては、 $N$   $i_1 = 0$  のとき、 $N = \pm 2 \times 2 - 1 \times 2 \times 0$ 、または  $N = 1 \times 2 \times 0 \pm 2 \times 2$  から算出される値は2と4で、最小値は2であるが、そのうち正の値である  $N = 4$  のパーミアンス分布関数の脈動成分が発生している場合を考慮してNは4に決定される点異なる。後の工程は実施の形態4と同様とすることで、永久磁石式同期モータを製造することが可能となる。

#### 【0060】

したがって、第6の実施の形態においては、円環状に形成され、コイル7が配設された12個のスロットを有するステータ2に対し、4極(Pは自然数)の永久磁石を有するロータ1を前記円環に挿入して組み立てるステップと、コイル7に通電しない状態で、ロータ1を回転させて角度毎のコギングトルクを測定するステップと、コギングトルクの測定

値に基づいてステータの外周部を加圧する位置を決定するステップと、 $N=2$ 、 $N=\pm 2 \times 2 - 12 \times 0$ 、または $N=12 \times 0 \pm 2 \times 2$ から算出される値のうち正の値である4箇所において、前記ステータの外周部を加圧する加圧部品を前記ステータの外周部に組み立てるステップとを備えたので、ステータ2の外周部の所定の位置を加圧させる前のコギングトルクの状態を利用するため、その発生要因をブラックボックスとして扱え、いかなる要因である場合もコギングトルクのスロット毎の不均一性に起因する成分を低減することができるので、コギングトルクの要因調査を行うことなく、コギングトルクを低減することができる。

#### 【0061】

尚、コギングトルクを計測するステップにおいて、ロータ1の極数と同数のコギングトルクが発生しなかった場合は、加圧する構造をもつ加圧部品3や、フレーム5を使用せずに、通常の円環状でステータ2を固定する部品にてステータ2を固定してもよい。

また、実施の形態3のフレーム5においても同様に、本実施の形態の製造方法を用いることができる。

#### 【図面の簡単な説明】

##### 【0062】

【図1】本発明に係わる永久磁石式同期モータの一実施の形態における断面図である。

【図2】本発明に係わる永久磁石式同期モータの一実施の形態におけるロータの角度におけるコギングトルクの計測結果の一例である。

【図3】本発明に係わる永久磁石式同期モータの第2の実施の形態における断面図である。

【図4】本発明に係わる永久磁石式同期モータの第2の実施の形態におけるロータの角度におけるコギングトルクの計測結果の一例である。

【図5】本発明に係わる永久磁石式同期モータの第3の実施の形態における断面図である。

【図6】本発明に係わる永久磁石式同期モータの第3の実施の形態における横断面図である。

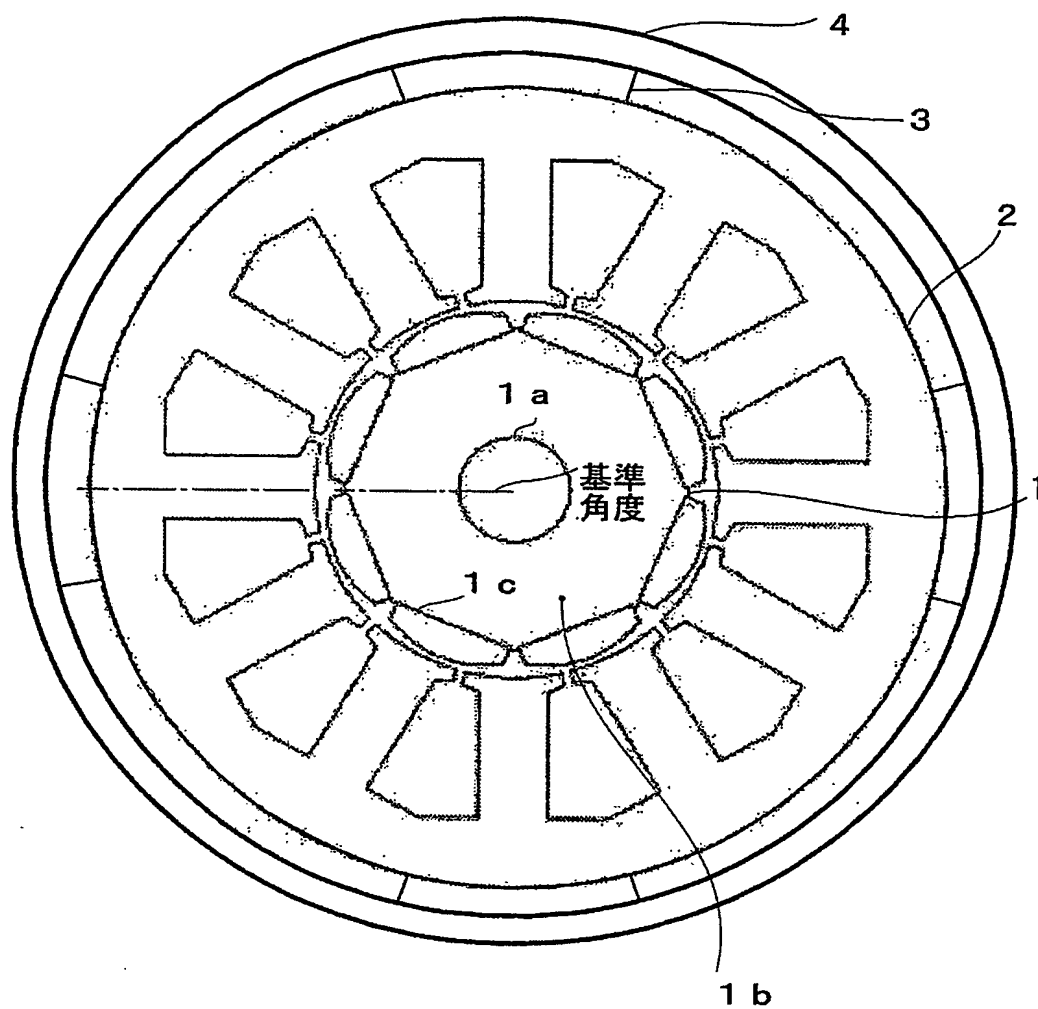
【図7】本発明に係わる永久磁石式同期モータの第5の実施の形態における断面図である。

#### 【符号の説明】

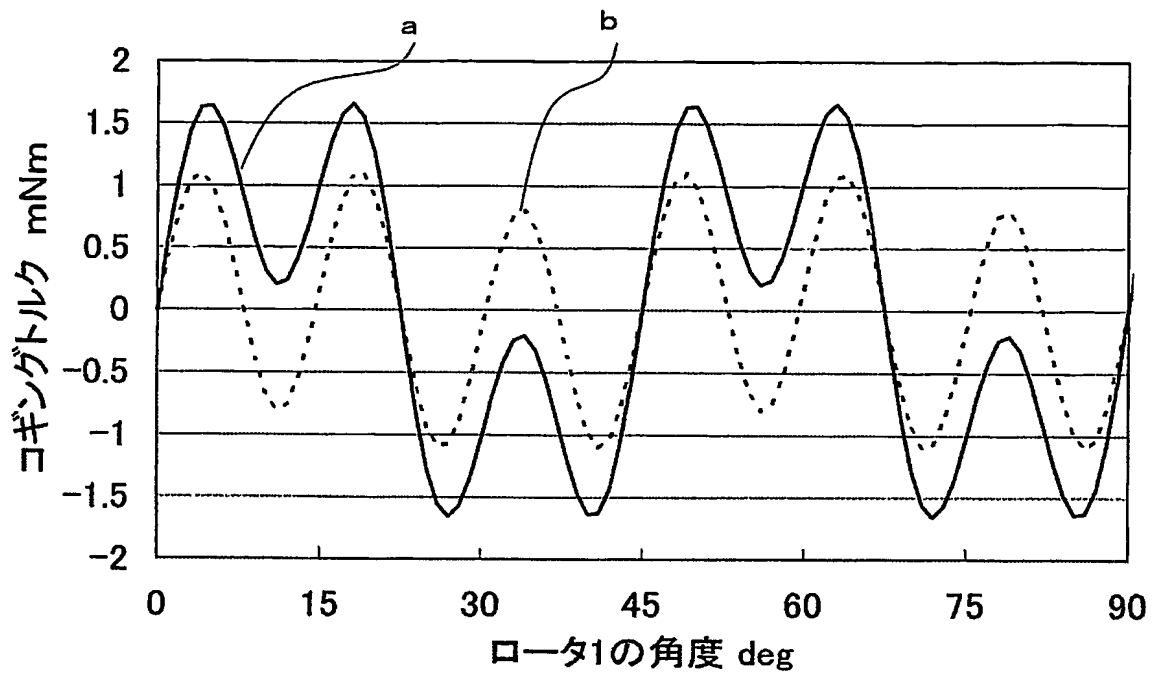
##### 【0063】

1 ロータ、1a シャフト、1b ロータヨーク、1c 磁石、2 ステータ、3 加圧部品、4 外装フレーム、5 フレーム、6 ベアリング、7 コイル

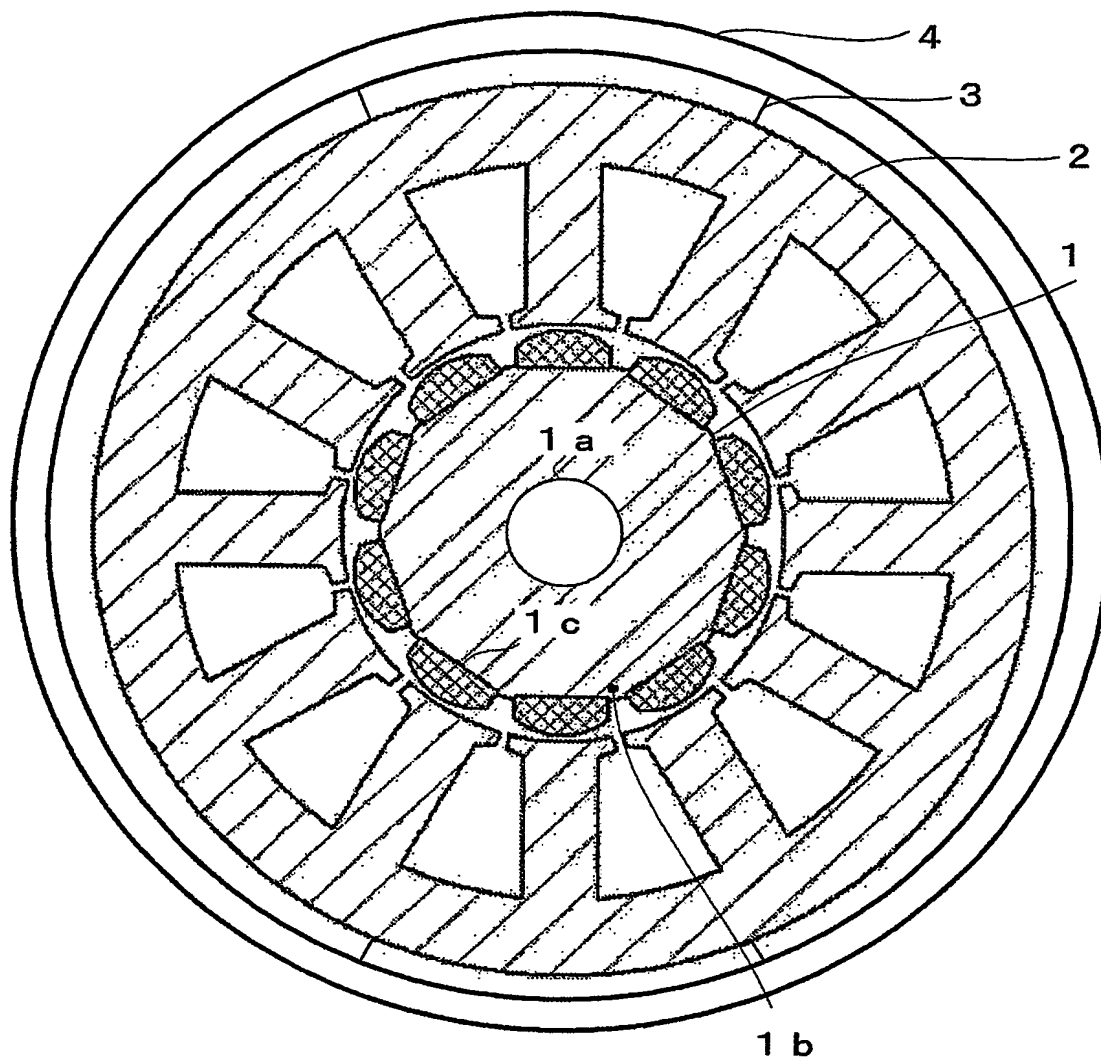
【書類名】 図面  
【図 1】



【図 2】

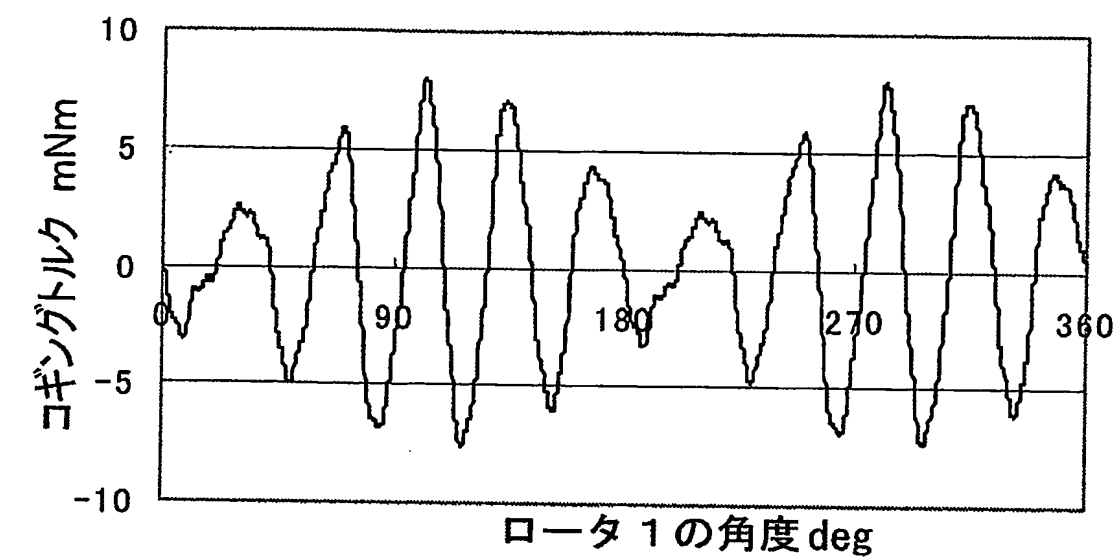


【図 3】

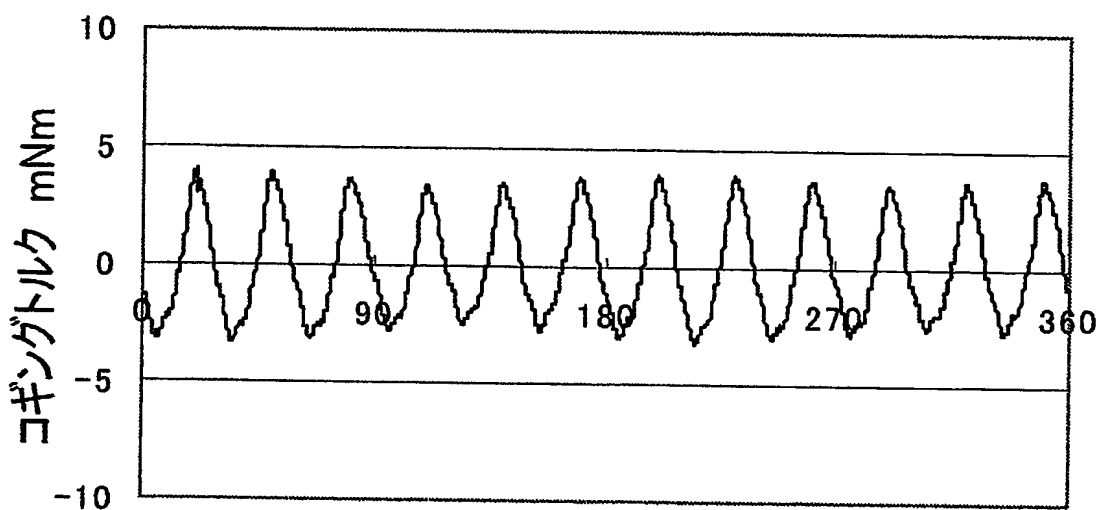




【図 4】



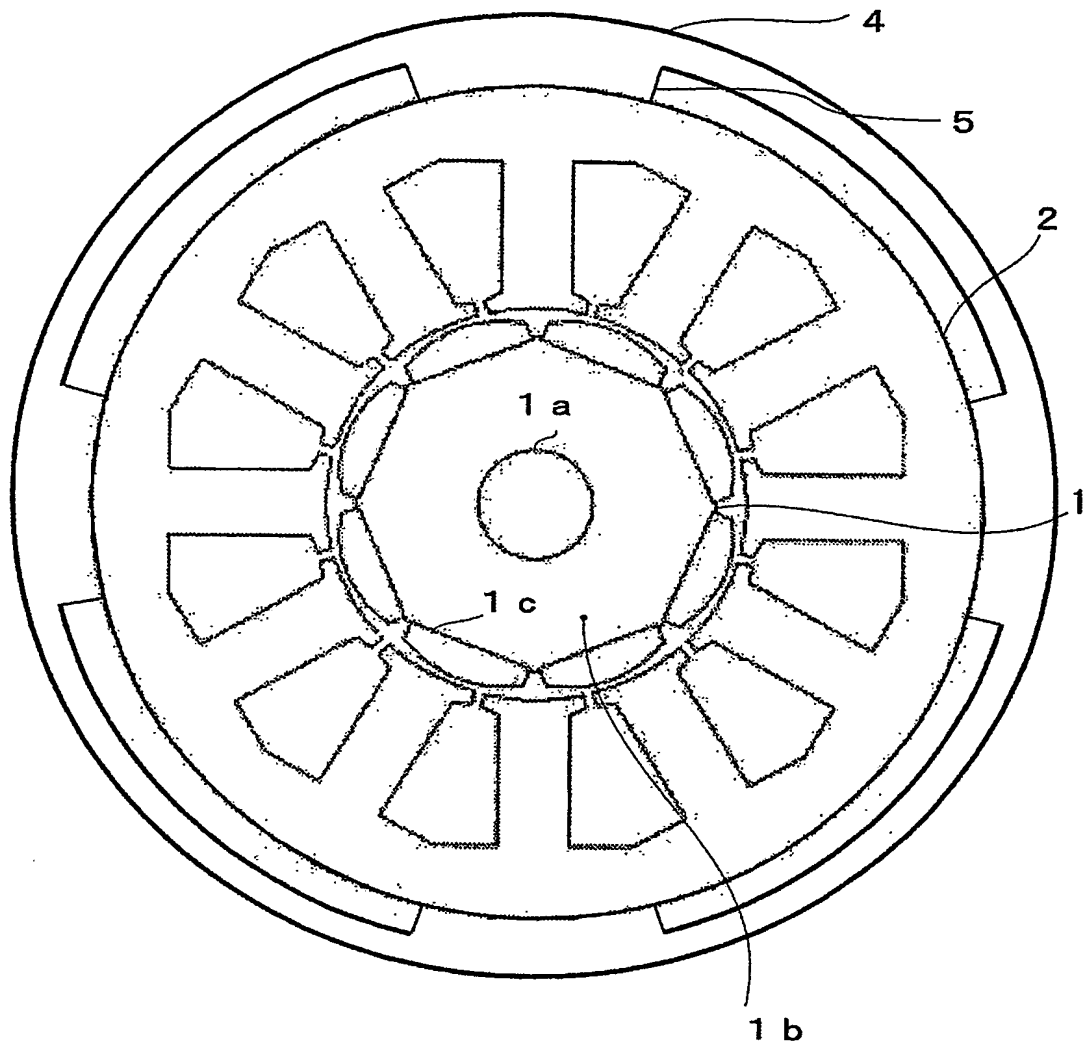
(a)



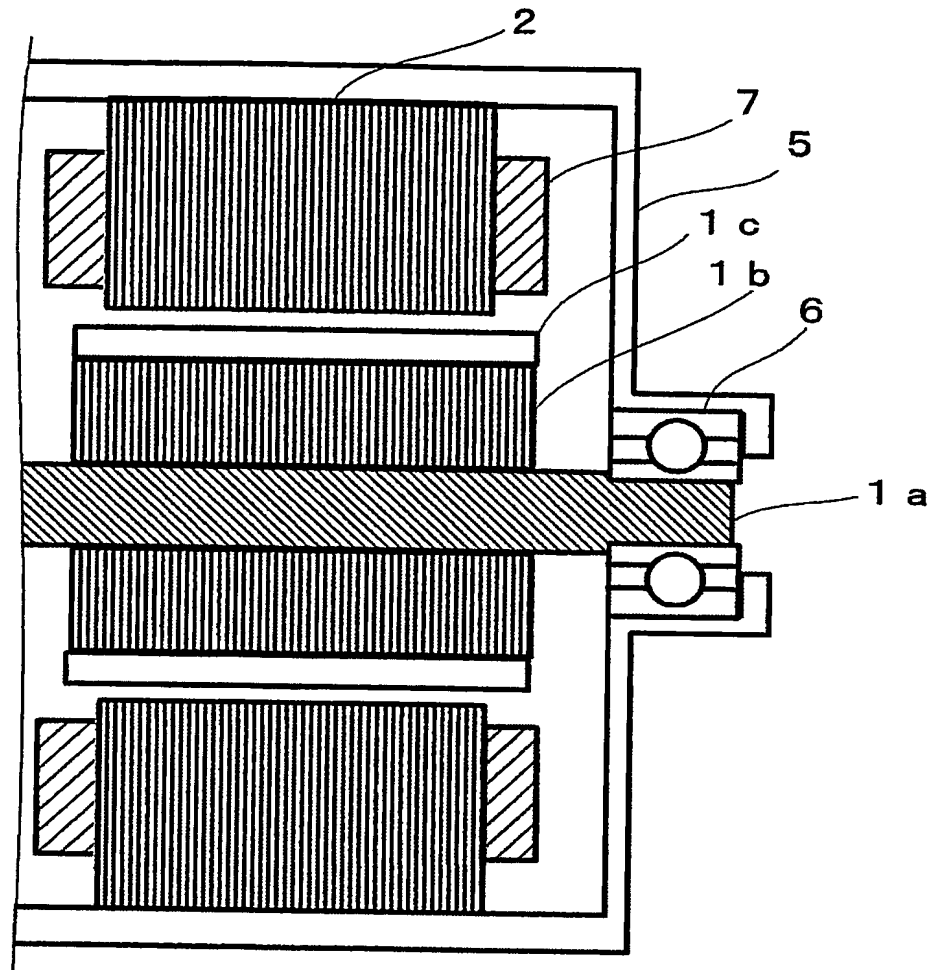
ロータ 1 の角度 deg

(b)

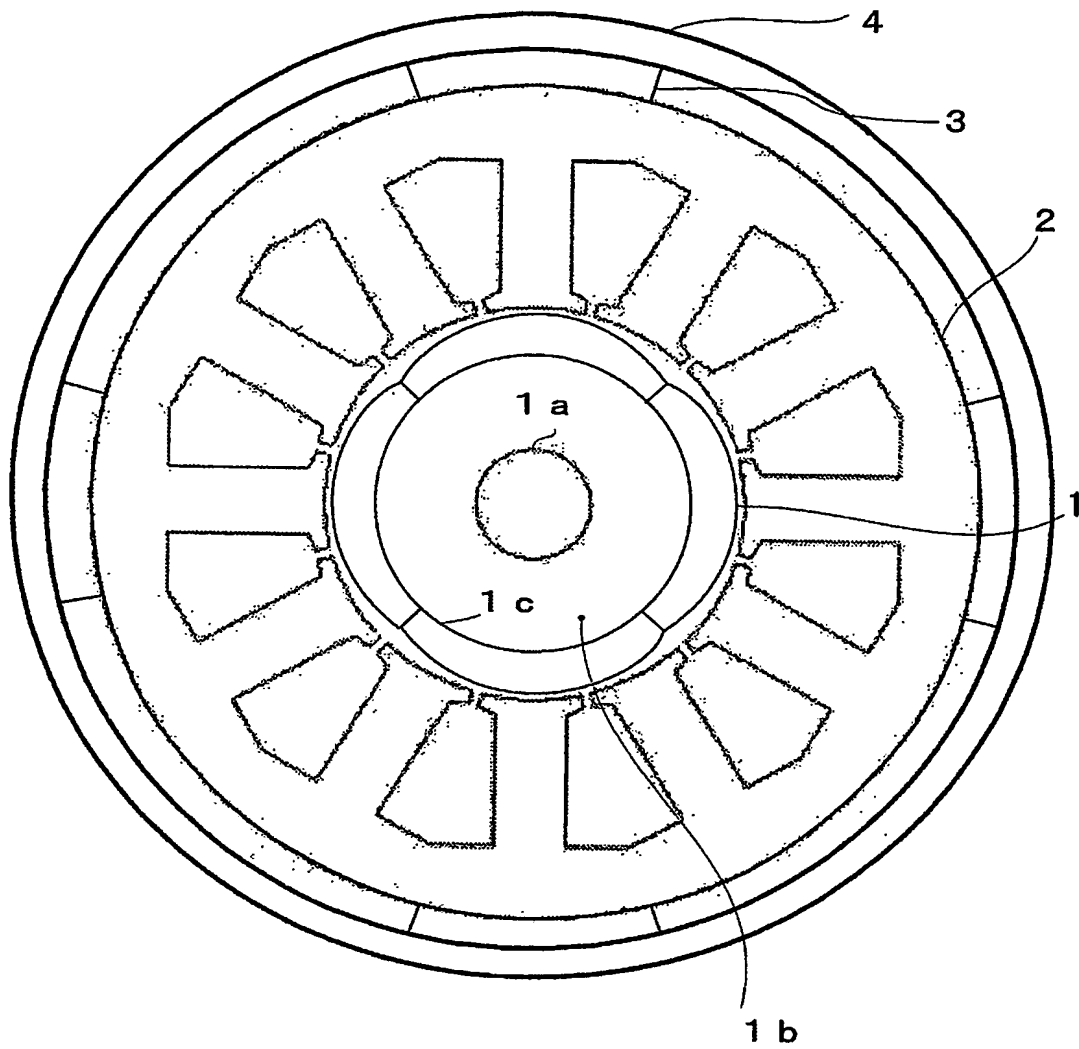
【図 5】



【図 6】



【図 7】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 永久磁石式同期モータのコギングトルクにおいて、ロータの一回転あたりのコギングトルクに含まれるロータの極数と同数の略正弦波成分を低減することを目的とする。

【解決手段】 8 極の磁極を有するロータ 1 と、1 2 のスロットを有し、ロータ 1 の極数と同数で略正弦波上のコギングトルクを発生させるパーミアンスの脈動成分を有するステータ 2 の組み合わせにおいて、所定の 4 箇所位置に配設された加圧部品 3 にてステータ 2 の外周から内側に加圧することで、ロータ 1 の極数と同数のコギングトルク脈動成分を打ち消す。

【選択図】

図 1

特願 2 0 0 4 - 0 1 5 3 0 9

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[ 0 0 0 0 0 6 0 1 3 ]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 2 4 日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都千代田区丸の内 2 丁目 2 番 3 号

氏 名

三菱電機株式会社